

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УДК 551.482 (476)

**Кольмакова Елена Геннадьевна**

**АНТРОПОГЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ  
СТОКА РАСТВОРЕННЫХ ВЕЩЕСТВ РЕК БАССЕЙНА НЕМАНА  
(В ПРЕДЕЛАХ БЕЛАРУСИ)**

25.00.23 – Физическая география и биогеография,  
география почв и геохимия ландшафтов

Автореферат диссертации  
на соискание ученой степени кандидата географических наук

Минск - 2005

Работа выполнена в Белорусском государственном университете

Научный руководитель — кандидат географических наук, доцент  
**Емельянов Юрий Николаевич**,  
Белорусский государственный университет,  
кафедра общего землеведения

Официальные оппоненты — доктор географических наук, профессор  
**Чертко Николай Константинович**,  
Белорусский государственный университет,  
кафедра почвоведения и геологии

кандидат географических наук,  
**Кадацкая Ольга Владимировна**,  
Государственное научное учреждение  
«Институт проблем использования  
природных ресурсов и экологии  
НАН Беларуси»,  
лаборатория оптимизации геосистем

Оппонирующая организация — Республиканское унитарное предприятие  
«Центральный научно-исследовательский  
институт комплексного использования  
водных ресурсов»

Защита состоится «1» февраля 2006 г. в 14<sup>00</sup> часов на заседании совета по защите диссертаций Д 02.01.06 при Белорусском государственном университете по адресу: 220050, Минск, ул. Ленинградская, 8, ауд. 407 юридического факультета БГУ. Телефон ученого секретаря: (8-017) 209-55-58.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Белорусского государственного университета.

Автореферат разослан «     » декабря 2005 г.

Ученый секретарь совета  
по защите диссертаций  
профессор

В. Н. Губин

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы диссертации.** В условиях возрастающего техногенного давления нарушение связей между компонентами ландшафта ведет к перераспределению потоков вещества и энергии, которое проявляется в изменении путей и масштабов миграции химических элементов. Без количественной оценки миграции веществ в водном потоке невозможно решение ряда практических и теоретических задач: установление величины антропогенной нагрузки на водоемы и водотоки, определение биологической продуктивности водоемов, оценка эффективности водоохраных мероприятий, моделирование выноса загрязняющих веществ с площади водосборов. Поэтому исследования стока растворенных веществ рек востребованы в современной практике управления водными ресурсами.

В Беларуси вместе с тем недостаточное внимание уделяется комплексным оценкам химического стока рек, вопросам учета антропогенной составляющей в формировании геохимических потоков, роли рассеянных и точечных источников в загрязнении вод. Такого рода работа, посвященная изучению антропогенной трансформации стока растворенных веществ на основе географо-гидрологического метода, выполнена для рек бассейна Немана впервые, что определяет ее значимость как географического исследования. Бассейн Немана единственный в Беларуси, водный и химический сток рек которого формируется непосредственно на ее территории и, следовательно, отражает природные особенности дренируемых водосборов, специфику их хозяйственного освоения и при этом не искажается влиянием транзитных вод.

**Связь работы с крупными научными программами, темами.** Диссертационная работа выполнялась в соответствии с планами НИР БГУ: «Современное состояние природных ресурсов бассейнов рек Немана, Зап. Двины» (№ ГР 19992337, 1999–2000 гг.); «Исследование изменения увлажненности территории Беларуси под влиянием естественных и антропогенных факторов» (№ ГР 19993628, 1999–2004 гг.).

**Цель и задачи исследования.** Цель проведенного исследования заключалась в выявлении и оценке пространственно-временных закономерностей формирования стока растворенных веществ рек в природных и природно-техногенных условиях (на примере бассейна Немана).

Для реализации поставленной цели решались следующие задачи:

- оценить вынос химических веществ малыми и средними реками бассейна за период гидрохимических наблюдений, установить пространственно-временные закономерности формирования стока растворенных веществ в природных условиях и при техногенном воздействии;
- выполнить графическое моделирование выноса химических веществ речным стоком и на его основе выявить современную пространственную структуру стока растворенных веществ в бассейне;

- определить антропогенную составляющую химического стока рек, установить роль урбанизированных территорий и диффузных источников в формировании техногенных потоков веществ в водной среде;

- разработать типизацию водотоков бассейна по интенсивности выноса химических веществ речным стоком, с учетом его фоновых значений и антропогенной трансформации.

**Объект и предмет исследования.** Объектом исследования являлись водотоки бассейна р. Неман (в пределах Республики Беларусь) как составные части природных геосистем. Предмет исследования — сток растворенных веществ рек, его структура, динамика, пространственная дифференциация.

**Методология и методы проведенного исследования.** Методологической основой исследования являлись научные положения об устойчивости и пространственно-временной изменчивости природных аквальных систем. Основные методы исследования — географо-гидрологический и балансовый, использованные при изучении взаимосвязей и взаимодействия элементов системы «водосбор–река»; системный анализ и сравнительно-географический метод, позволившие обобщить информацию и синтезировать ключевые закономерности. Для оценки фактического материала применены методы математической статистики — дисперсионный и корреляционный анализы. Интерпретация результатов исследования проведена путем моделирования.

**Научная новизна и значимость полученных результатов.** Научная новизна диссертационного исследования состоит в следующем:

- впервые проведена комплексная оценка стока растворенных веществ рек бассейна Немана за многолетний период наблюдений (1948–2001 гг.), учитывающая макрокомпоненты, биогенные и органические вещества, микроэлементы, нефтепродукты;

- усовершенствована методика индикации антропогенных изменений химического состава речных вод, позволяющая диагностировать изменения режима ионов на раннем этапе;

- выявлены пространственно-временные закономерности формирования стока растворенных веществ в природных условиях и его трансформации при техногенном воздействии;

- впервые выполнено моделирование выноса химических веществ речным стоком с площади водосборов исследуемого бассейна на основе ГИС–технологий, результатом которого является серия из 20 карт модуля химического стока; установлены закономерности современной пространственной структуры стока растворенных веществ;

- количественно оценена антропогенная составляющая ионного и биогенного стока рек бассейна Немана; выполнена оценка выноса речным стоком химических веществ из урбанизированных территорий и диффузных источников;

- впервые разработана географо-гидрохимическая типизация водотоков бассейна Немана по интенсивности выноса химических веществ речным стоком, с учетом его фоновых значений и антропогенной трансформации.

**Практическая значимость полученных результатов.** Графические модели выноса химических веществ речным стоком позволяют оценивать химический сток малых рек, не обеспеченных собственными гидрологическими и (или) гидрохимическими наблюдениями, а также прогнозировать ожидаемое качество речных вод в бассейне в условиях различной водности и интенсивности антропогенной нагрузки. Полученные результаты оценки выноса загрязняющих веществ водным стоком трансграничной реки Неман на территорию сопредельного государства могут способствовать более четкому согласованию межгосударственных экологических проектов. Предложенные рекомендации учитываются при реализации водоохранных мероприятий в бассейне Немана.

Отдельные разделы диссертации использованы Гродненским областным комитетом природных ресурсов и охраны окружающей среды при разработке водоохранных мероприятий в бассейне Немана в соответствии с НИР «Выполнение экологического обоснования проектов водоохранных зон и прибрежных полос рек Неман, Вилия и Щара в пределах Гродненской области» (№ГР 20041491), а также применены Центральным научно-исследовательским институтом комплексного использования водных ресурсов при выполнении научно-исследовательских работ: «Разработка программы ведения фонового мониторинга поверхностных вод» (№ ГР 2005959), «Оценить трансграничный перенос загрязняющих веществ и параметры аварийных ситуаций по основным рекам на территории Витебской области» (№ ГР 2002859), «Оценка современного состояния и влияния антропогенной нагрузки на качество поверхностных вод реки Улла и ее притоков в пределах Чашникского, Ушачского, Бешенковичского и Сенненского районов Витебской области» (№ ГР 2004739).

Усовершенствованная автором методика индикации антропогенных изменений химического состава речных вод используется в учебном процессе при подготовке географов в БГПУ им. М. Танка при чтении курса «Методика физико-географических исследований» (Акт об использовании НИР в учебном процессе от 08.04.2005 г.).

#### **Основные положения диссертации, выносимые на защиту:**

1. Комплексная оценка стока растворенных веществ выявляет дифференциацию его антропогенных изменений. Графические модели выноса химических веществ речным стоком с площади водосборов позволяют оценить его пространственную структуру.

2. Величина антропогенной составляющей стока растворенных веществ является индикатором гидрохимической обстановки, отражающим степень воздействия диффузных источников и урбанизированных территорий.

3. Географо-гидрохимическая типизация водотоков бассейна, выполненная по интенсивности выноса химических веществ речным стоком, с учетом его фоновых значений и антропогенной трансформации, является основой для разработки водоохранных мероприятий.

**Личный вклад соискателя.** Диссертационная работа является самостоятельно выполненным научным трудом, основанном на обработке фондовых ма-

териалов Республиканского гидрометеорологического центра и Республиканского центра радиационного контроля и мониторинга окружающей среды, анализе опубликованных литературных источников и методических разработок. Автором выполнена комплексная оценка выноса главных ионов, биогенных и органических веществ, микроэлементов и нефтепродуктов речным стоком за 1948–2001 гг. Усовершенствована методика индикации антропогенных изменений химического состава речных вод. Установлены закономерности трансформации стока растворенных веществ рек. Количественно оценена антропогенная составляющая химического стока рек, определено привнесение в речные потоки химических веществ с урбанизированных территорий и диффузных источников. Построены графические модели выноса растворенных веществ с площади водосборов. Разработана географо-гидрохимическая типизация водотоков бассейна.

**Апробация результатов диссертации.** Материалы диссертации докладывались на 56-й–60-й научных конференциях студентов и аспирантов БГУ (Минск, 1999–2004 гг.), V Республиканской научной конференции студентов, магистрантов и аспирантов Республики Беларусь (Гродно, 2000 г.), VI Республиканской конференции студентов, магистрантов и аспирантов Республики Беларусь (Витебск, 2001 г.), на XIII Стокгольмском водном симпозиуме «Drainage Basin Security — Balancing Production, Trade and Water Use» (Стокгольм, 2003 г.), на Международной научно-практической конференции «Теоретические и прикладные проблемы современной лимнологии» (Минск, 2003 г.), на Международной научной конференции «География в XXI веке: проблемы и перспективы» (Минск, 2004 г.). Материалы диссертации также включены в сборники трудов VI съезда Белорусского географического общества (Могилев, 1999 г.), Международного научного симпозиума «V International Symposium and Exhibition on Environmental Contamination in Central and Eastern Europe» (Прага, 2000 г.), VI Межвузовской научно-методической конференции молодых ученых (Брест, 2004 г.), VI Всероссийского гидрологического съезда (Санкт-Петербург, 2004 г.), II Республиканской научно-практической конференции «Антропогенная динамика ландшафтов и проблемы сохранения и устойчивого использования биологического разнообразия» (Минск, 2004 г.).

**Опубликованность результатов.** По теме диссертационного исследования опубликовано 19 научных работ (15 без соавторов), в том числе статей в рецензируемых научных журналах — 8, в сборниках материалов конференций — 8, тезисов научных докладов — 3. Общий объем опубликованных материалов составляет 75 страниц.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, пяти глав, заключения, приложений, списка использованных источников. Общий объем — 208 страниц, в том числе 38 таблиц на 21 странице, 82 рисунка на 33 страницах; 5 приложений на 38 страницах. Список использованных источников включает 239 наименований на 18 страницах.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

### Глава 1. Состояние изученности проблемы и методика исследования

К настоящему времени в рамках геохимических, гидрохимических и географо-гидрологических подходов сформировалось представление о стоке растворенных веществ рек как интегральной характеристике формирования химического состава поверхностных вод. Основы геохимических подходов заложены в фундаментальных трудах В. И. Вернадского, А. И. Перельмана, В. Г. Польшова, К. И. Лукашева и др. Становление гидрохимических исследований датируется серединой XX века и связано с работами О. А. Алекина, П. П. Воронкова, А. М. Никанорова, Е. В. Посохова, в которых раскрываются основные механизмы и факторы формирования стока растворенных веществ рек в природных условиях, закономерности его пространственной дифференциации, особенности генетических категорий стока. Представления о взаимосвязи и взаимообусловленности элементов в системе «водосбор–река», об участии ландшафтных компонентов в формировании речного стока сформировались в рамках географо-гидрологического подхода (В. Г. Глушков, М. И. Львович и др.). Методологической основой комплексных исследований, рассматривающих сток растворенных веществ рек как результат природных процессов и техногенного воздействия, являются научные положения об устойчивости и пространственно-временной изменчивости природных аквальных систем, получившие развитие в трудах А. В. Караушева, В. В. Куприянова, Б. Г. Скакальского, В. И. Пелешенко, М. П. Максимовой, О. В. Кадацкой, Н. К. Чертко.

Анализ состояния изученности проблемы в отношении рек Беларуси выявил широкий круг недостаточно разработанных вопросов. Их исследование требует развития научно-методической базы, проведения комплексных оценок выноса химических веществ речным стоком и его антропогенной составляющей, дифференцированного учета поступления техногенных веществ из диффузных и точечных источников, моделирования и картографирования химического стока рек.

Решение данной проблемы находится на стыке наук — физической географии, гидрохимии, геохимии, гидрологии, экологии — и требует проведения комплексных исследований. Диссертационная работа, направленная на устранение этого пробела, позволяет выявить географические закономерности формирования стока растворенных веществ рек Беларуси (на примере бассейна Немана) в природных и природно-техногенных условиях.

В основу нашего исследования положены обработанные автором многолетние данные (за 1948–2001 гг.) Республиканского гидрометеорологического центра и Республиканского центра радиационного контроля и мониторинга окружающей среды по расходам воды и концентрации химических веществ: хлоридов, сульфатов, натрия, калия, гидрокарбонатов, суммы главных ионов

( $\Sigma_{\text{и}}$ ), БПК<sub>5</sub>, ХПК, азота нитратного, азота аммонийного, азота нитритного, азота общего, фосфатов, фосфора общего, железа общего, кремния, меди, цинка, никеля, хрома общего, марганца, нефтепродуктов. Репрезентативная гидрохимическая информация (свыше 108 000 данных) отражает химический состав воды 15 рек (с рядами наблюдений от 25 до 53 лет). Восстановление пропусков наблюдений и создание расчетных схем осуществлено с использованием методов гидрологических, гидрохимических, математической статистики, аналогий. Расчеты стока выполнены по среднемесячным величинам с целью учета внутригодового распределения. Оценка погрешности вычислений включает учет дискретности натурных наблюдений и погрешности при расчетах по восстановленным расходам воды.

Индикация антропогенных изменений химического состава речных вод проведена по усовершенствованной автором методике, позволяющей диагностировать антропогенные нарушения режима ионов на раннем этапе. Ее суть заключается в построении разностно-интегральных кривых по параметрам с высоким индикационным значением — отношению стока главных ионов и биогенных веществ к выносу соответственно гидрокарбонатного иона и кремния. Анализ разностно-интегральных кривых позволил определить моменты нарушения гидрохимического режима рек и разделить период наблюдений на временные интервалы — природный и природно-техногенный — с различной интенсивностью хозяйственного освоения водосборных пространств. Качественное изменение химического стока проверялось по критериям Стьюдента и Фишера, посредством SPSS v. 10.0. Изучение стока растворенных проводилось методами сравнительно-географического и корреляционного анализов, методом аналогий. Для количественной оценки антропогенной составляющей стока использован метод М. П. Максимовой (1985), основанный на особенностях геохимического поведения элементов. Учет поступления загрязняющих веществ из диффузных источников и урбанизированных территорий выполнен способом, основанном на уравнении баланса массы вещества в водотоке.

Для систематизации и получения информации на локальном уровне выполнено графическое моделирование выноса химических веществ речным стоком с площади водосборов средствами ArcView GIS v. 3.2, результатом которого является серия из 20 карт годового модуля стока химических веществ. Полученные графические модели позволяют оценить современную пространственную структуру химического стока рек в бассейне.

## **Глава 2. Факторы формирования стока растворенных веществ рек бассейна Немана**

Формирование химического состава поверхностных вод осуществляется в результате воздействия факторов природной среды и антропогенной нагрузки. Внутригодовое и территориальное распределение водного стока, специфика подстилающих пород, гидрогеологических условий, почвенного и растительно-



го покрова, климата, рельефа обуславливают формирование стока растворенных веществ. Определяющая роль на участках водосбора бассейна Немана, приуроченных к Волковысской возвышенности (рр. Россь, Свисlochь), Новогрудско-Кореличскому массиву (рр. Сервечь, Уша, Валовка), Ошмянской гряде (рр. Ошмянка, Дитва, Лебеда), Минской возвышенности (верховья р. Уши), принадлежит литогенному фактору. Это районы распространения лессовидных отложений и карбонатизированных моренных образований, подстилаемых породами девона и мела. Большая глубина эрозионного вреза речных долин обеспечивает дренирование различных водоносных слоев. На остальной территории бассейна роль литогенного фактора сглаживается влиянием маломинерализованных болотных вод и лесной растительности. Реки дренируют толщу четвертичных отложений, подвергшуюся глубокому выщелачиванию.

Антропогенная нагрузка представлена точечными и диффузными источниками поступления химических веществ в речную сеть: сбросы сточных вод промышленными предприятиями и коммунальными хозяйствами, животноводческими комплексами, поверхностный смыв с селитебных и сельскохозяйственных земель, привнос с атмосферными осадками, утечки маломерного флота. Их размещение в бассейне носит неравномерный характер. Основные контролируемые выпуски сточных вод сосредоточены в промышленно-селитебных центрах. Загрязняющие вещества со стоками животноводческих и птицеводческих ферм поступают преимущественно в верховья Вилии и Немана, Щары, Росси, Котры, Березины, Нарочи; со смывом с сельхозугодий — интенсивнее с водосборов верхнего Немана, Росси, Ошмянки, Уши. Анализ антропогенной нагрузки за многолетний период показал, что максимальное поступление сточных вод в поверхностные воды бассейна осуществлялось в 1970–1980-е годы. В 1990-е гг. в условиях ослабления техногенного давления в водосборе отмечается снижение объемов промышленного и хозяйственно-бытового отведения загрязненных стоков в 4 раза, выноса загрязняющих веществ с сельскохозяйственных угодий и объектов животноводства — в 1,5–2 раза.

### **Глава 3. Формирование стока растворенных веществ в природных условиях**

Специфика и интенсивность хозяйственной деятельности в водосборах, различная устойчивость соединений в природных водах определила разновременность нарушения химического состава речных вод в бассейне. Первые признаки антропогенных изменений стока биогенных веществ появились раньше (в конце 1950-х — начале 1960-х гг.), чем макрокомпонентов (в конце 1960-х гг.). Устойчивость и малая растворимость фосфора определили более позднее нарушение его режима по сравнению с азотом.

Выполненная оценка стока растворенных веществ позволяет констатировать, что за счет природных факторов речным стоком в бассейне выносятся 30–60 т/км<sup>2</sup> ионов в год (табл. 1).

Таблица 1

Модуль стока растворенных веществ в природных условиях (до 1956–1974 гг.)

Река (створ)	Модуль стока главных ионов, т/км <sup>2</sup> в год				Модуль стока биогенных веществ, кг/км <sup>2</sup> в год		
	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Σ <sub>и</sub>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	Fe <sub>общ</sub>
Сервечь (устье)	0,5	1,1	25,1	35	1,7	-	205,1
Вилия (г. Вилейка)	0,5	1,6	31,8	44	2,5	-	187,8
Нарочь (устье)	0,9	2,1	25,8	38	3,1	3,6	165,9
Ошмянка (устье)	0,5	2,3	40,3	57	-	5,7	144,7
Неман (г. Столбцы)	0,8	1,3	24,1	35	2,1	-	138,5
Бережина (устье)	0,9	4,0	39,7	59	-	-	175,6
Свислочь (устье)	0,6	1,7	32,6	46	2,7	3,4	102,9
Котра (устье)	0,7	2,0	20,0	30	-	2,2	128,3
Неман (г. Гродно)	0,7	1,9	29,0	42	3,1	4,0	145,4

Как известно, пространственная структура химического стока рек в условиях ненарушенного гидрохимического режима обусловлена природными особенностями дренируемых водосборов. Интенсивный вынос химических веществ водами Березины, Свислочи, Ошмянки осуществляется за счет дренирования отложений девона, мела, ордовика, силура и приуроченных к ним водоносных комплексов с повышенной минерализацией вод; повышенного содержания карбонатов и щелочноземельных элементов в покровных отложениях; широкого распространения песчаных и супесчаных почвообразующих пород (45 %); большой глубины эрозионного вреза речных долин (до 150 м).

Незначительный вынос химических веществ осуществляется с заболоченных и зеленых водосборов рр. Котры, Сервечи, Нарочи, верхней Вилии и Немана. Господство восстановительной геохимической обстановки в естественных условиях способствует интенсивному выносу речным стоком железа с заболоченных водосборов рр. Сервечи, верхней Вилии, Березины, Нарочи.

Распределение химического стока рек обусловлено внутригодовой неравномерностью и гидрохимическим различием генетических категорий водного стока, определяющих питание водотоков и величину минерализации. Высокие расходы воды в весеннее половодье, несмотря на пониженную концентрацию минеральных и органических компонентов в поверхностно-склоновых и почвенно-поверхностных водах, пополняющих русловую сеть, создают предпосылки для формирования наибольшего выноса химических веществ речным стоком (Σ<sub>и</sub> — 4,2–6,2 т/км<sup>2</sup> в месяц; Cl<sup>-</sup> — 0,05–0,12 кг/км<sup>2</sup> в месяц; SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> — 0,22–0,60; NO<sub>2</sub><sup>-</sup> — 0,30–0,61; PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> — 0,34–0,69; Fe<sub>общ</sub> — 19,1–47,6). Низкие расходы воды в меженные периоды, несмотря на высокую минерализацию грунтовых вод, питающих водотоки, не способствуют формированию интенсивного выноса химических веществ (Σ<sub>и</sub> — 1,8–4,7 т/км<sup>2</sup> в месяц; Cl<sup>-</sup> — 0,02–0,06 кг/км<sup>2</sup> в месяц; SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> — 0,05–0,26; NO<sub>2</sub><sup>-</sup> — 0,05–0,44; PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> — 0,12–0,45; Fe<sub>общ</sub> — 3,9–10,5). Повышенные расходы обеспечивают вынос в по-

ловодье 30–40 % годовой массы макрокомпонентов и 50–70 % — биогенных веществ. Валовой сток главных ионов летней межени превосходит зимний вследствие повышенной концентрации элементов и больших объемов водного стока; биогенный сток летней межени может уступать зимнему из-за активного биологического поглощения веществ.

#### **Глава 4. Антропогенные изменения стока растворенных веществ рек**

Проведенная комплексная оценка стока растворенных веществ рек бассейна Немана за многолетний период наблюдений позволяет выявить дифференциацию его антропогенных изменений. Привнесение в русловую сеть главных ионов, биогенных веществ с промышленными и коммунально-бытовыми стоками, поверхностным смывом с сельскохозяйственных и селитебных земель привело к увеличению их выноса большинством водотоков. Наиболее значительный рост величины удельного выноса  $\text{Cl}^-$  установлен для Свислочи, Сервечи и Ошмянки (в 3,8–6,2 раза),  $\text{SO}_4^{2-}$  — верхнего Немана, Сервечи, Зельвянки, Свислочи (в 3,6–4 раза),  $\text{Na}^+$  и  $\text{K}^+$  — Ошмянки, верхнего Немана, Щары, Сервечи (в 3–5 раз),  $\text{NO}_2^-$  — верхнего Немана, Сервечи (2,6–3 раза),  $\text{PO}_4^{3-}$  — Ошмянки, Котры (3–4,4 раза). В верхней Вилии, Зельвянке, Щаре зафиксировано явление «компенсации солей»: сокращение водного стока, обусловленное гидротехническим строительством, компенсировало привнос дополнительного количества веществ из техногенных источников.

Широкомасштабное проведение осушительной мелиорации на водосборах привело к смене геохимической обстановки с восстановительной на окислительную и как следствие — к снижению выноса железа речным стоком (в 3–11 раз соответственно в Котре и Березине). Антропогенные изменения стока микроэлементов и органических веществ носили разнонаправленный характер. Изменение активности водной миграции элементов вследствие мелиорации вызвало увеличение в 1960–1970-е гг. стока меди (в 4,4–4,7 раза в верхнем Немане и Котре), сокращение выноса марганца (в 3,6–4,8 раза в Нарочи и Щаре) и органического вещества (в 1,9–2,2 раза в Нарочи, Сервечи, Березине). Интенсивное поступление металлов из техногенных источников привело к увеличению их выноса к 1980-м гг. (хрома — в 1,3–2,1 раза, цинка — в 3,5–20 раз, никеля — в 3–11,5 раза). Наиболее сильное загрязнение нефтепродуктами водотоки испытывали в конце 1970-х – начале 1980-х гг. (82–101 кг/км<sup>2</sup> в год в рр. Гожке, Ошмянке, Росси); в 1990-е гг. сток нефтепродуктов имел устойчивую тенденцию к снижению (в 5,7–7,2 раза в Котре, Зельвянке, Росси).

Во внутригодовом аспекте антропогенный рост стока растворенных веществ до 1970-х гг. активнее проявлялся, как известно, в весеннее половодье, что наравне с превышением летнего модуля стока над зимним свидетельствовало о доминировании агрохозяйственной деятельности в водосборах. В последующие годы интенсивное увеличение стока осуществляется в летнюю и зимнюю межень из-за усиления роли постоянно действующих источников. Так,

внутригодовое распределение (весеннее половодье – летняя межень – зимняя межень) валового выноса главных ионов через замыкающий створ р. Неман – ниже г. Гродно в природных условиях выражалось соответственно соотношением 36-41-23 %, а в природно-техногенных — 34-38-28 %; азота нитритного — 57-21-22 % и 39-28-33 %; фосфатов — 47-33-20 % и 27-37-36 %; железа — 60-23-17 % и 39-32-29 %. Таким образом, внутригодовое изменение химического стока привело к нивелированию сезонных различий.

В пределах природно-техногенного периода с 1988–1989 гг. выделяется этап стабилизации химического состава поверхностных вод — современный. Тенденция проявляется в постепенном снижении химического стока или сокращении его ежегодного прироста, значительнее — по макрокомпонентам. Модули стока растворенных веществ за современный период приведены в табл. 2. Доказано, что пространственная дифференциация показателей стока на современном этапе отражает особенности хозяйственного освоения водосборных пространств на фоне их природных различий.

Моделирование на основе ГИС-технологий (по данным за 1988–2001 гг.) позволило создать карты выноса исследуемых химических веществ речным стоком с площади водосборов бассейна. Полученные графические модели позволяют, во-первых, определить величину химического стока малых рек, не обеспеченных собственными гидрологическими и (или) гидрохимическими наблюдениями; во-вторых, оценить современную пространственную структуру стока растворенных веществ. Пример карты приведен на рис. 1.

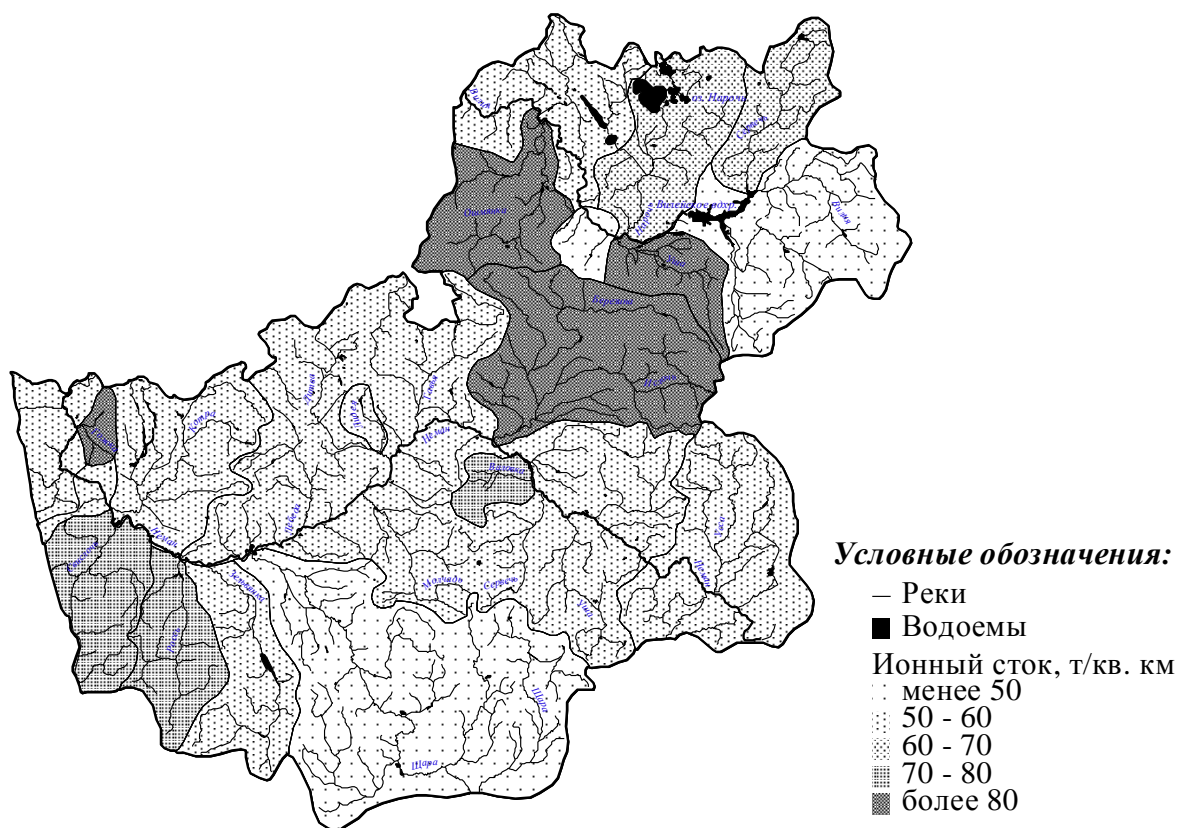


Рис. 1. Модуль стока главных ионов с водосборов рек бассейна Немана (масштаб 1:2500000)

Таблица 2

Годовой модуль стока химических веществ рек в современный период (за 1988–2001 гг.)

Река (створ)	Модуль стока главных ионов, т/км <sup>2</sup> в год					Модуль стока биогенных веществ, кг/км <sup>2</sup> в год						Модуль стока органических веществ, т О/км <sup>2</sup>		Модуль стока микроэлементов и нефтепродуктов, кг/км <sup>2</sup> в год					
	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Σ <sub>и</sub>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	P <sub>общ</sub>	Fe	БПК <sub>5</sub>	ХПК	Cu	Zn	Ni	Cr	Mn	НП
Сервечь (устье)	2,3	4,0	1,0	0,6	70	4,4	142,5	77,0	6,5	53,6	77,7	0,5	7,3	0,9	3,2	1,0	0,1	3,1	29,8
Нарочь (устье)	2,3	5,5	1,1	0,4	65	4,1	183,8	75,9	7,7	94,6	73,4	0,4	7,1	0,9	3,6	1,0	0,1	2,6	22,9
Уша (устье)	3,7	10,4	2,2	0,7	102	11,9	279,8	112,2	9,5	89,1	71,5	0,5	6,1	1,4	5,9	1,6	0,3	5,6	38,3
Ошмянка (устье)	3,1	6,7	1,9	0,8	86	8,2	206,4	108,8	25,2	117,9	62,3	0,5	5,7	1,4	3,9	1,3	0,3	4,6	19,6
Вилия (г. Вилейка)	1,7	3,4	0,8	0,4	46	2,9	102,0	43,5	4,4	37,3	34,7	0,3	3,8	0,5	2,1	0,7	0,1	2,7	22,6
Вилия (г. Сморгонь)	2,0	3,8	1,0	0,4	49	4,5	108,7	48,0	4,7	64,4	35,5	0,3	4,3	0,7	2,3	0,8	0,1	2,2	21,5
Вилия (граница РБ)	2,3	3,9	1,2	0,4	51	7,4	136,9	53,0	6,8	48,1	39,7	0,4	4,7	0,7	2,5	0,9	0,1	2,6	28,3
Березина (устье)	2,5	7,9	1,3	0,5	82	3,2	136,8	65,9	7,8	79,7	47,7	0,4	5,6	0,9	3,2	1,1	0,0	3,3	16,7
Валовка (устье)	2,7	4,8	1,5	0,5	74	5,4	170,8	64,0	8,0	99,2	36,4	0,3	4,0	1,2	3,5	1,1	0,1	2,1	43,3
Лидея (устье)	2,8	5,6	1,5	0,4	57	3,3	98,2	53,9	13,8	97,4	28,3	0,4	2,9	0,5	1,5	0,8	0,2	1,6	43,0
Щара (устье)	2,5	3,9	1,6	0,4	47	5,6	112,5	56,4	7,1	60,9	57,2	0,4	5,3	1,2	3,1	0,8	0,2	2,1	18,8
Зельвянка (устье)	2,1	5,5	1,0	0,4	56	4,5	102,5	66,8	6,7	61,7	42,4	0,6	4,6	0,6	1,8	0,8	0,2	1,9	12,7
Россь (устье)	4,5	4,5	2,5	0,9	75	11,8	234,4	73,8	14,4	75,9	45,6	0,5	4,8	0,9	3,0	1,8	0,2	2,9	14,0
Свислочь (устье)	2,3	6,9	1,3	0,5	71	5,1	156,5	50,2	6,3	45,9	44,2	0,4	3,9	0,7	2,1	0,9	0,1	1,9	19,7
Котра (устье)	1,9	5,0	0,9	0,3	54	5,8	154,1	69,2	6,6	50,3	51,5	0,5	5,3	1,0	3,9	1,1	0,1	3,6	12,3
Неман (г. Столбцы)	2,9	4,9	1,3	0,5	58	6,3	171,9	58,1	8,0	49,2	44,6	0,3	4,4	0,7	2,5	0,9	0,1	2,5	15,9
Неман (г. Мосты)	2,5	4,9	1,3	0,5	59	6,3	127,2	60,2	7,6	77,2	43,4	0,5	5,2	0,8	2,8	1,0	0,6	2,8	16,1
Неман (г. Гродно)	2,4	4,8	1,3	0,4	57	4,9	139,5	65,6	7,5	62,2	41,1	0,6	5,0	0,9	2,7	0,9	0,2	3,1	17,5
Гожка (устье)	4,4	11,4	1,9	0,7	95	10,0	273,9	95,0	11,8	78,7	44,9	0,5	6,8	1,0	4,4	1,3	0,2	3,2	23,8
Неман (граница РБ)	2,6	5,1	1,5	0,5	59	5,2	145,1	71,4	9,3	61,8	43,3	0,6	5,3	1,2	3,2	1,1	0,2	3,4	21,7

Выполненная оценка антропогенной составляющей стока растворенных веществ за многолетний период дает возможность установить, что изменение ее величины служит индикатором гидрохимической обстановки, отражающим интенсивность техногенного воздействия на водосборе. Так, со второй половины 1960-х гг. в бассейне Немана происходил рост выноса ионов из техногенных источников, пик которого пришелся на 1980-е гг. — период интенсивного промышленного водоотведения и химизации сельского хозяйства. Антропогенная составляющая стока главных ионов достигла 13,5 %, хлоридов — 72 %, сульфатов — 55 %, нитритов — 65 %, фосфатов — 75 % от общей массы. В 1990-е гг. в условиях ослабления техногенной нагрузки и пониженной водности выявлено уменьшение антропогенной доли в стоке, что свидетельствует о существовании тенденции к стабилизации химического состава речных вод.

На современном этапе антропогенная составляющая в стоке хлоридов колеблется в пределах 46–73 % соответственно в Котре и верхней Вилии, сульфатов — 22–66 % в Котре и Свислочи, азота нитритного — 32–71 % в Нарочи и верхнем Немане, фосфатов — 11–84 % в Нарочи и Свислочи. В целом, по данным замыкающего створа р. Неман — ниже г. Гродно, доминирующую роль в формировании стока хлоридов играют техногенные источники (69 %). Антропогенная доля в стоке сульфатов и нитритов сопоставима с природной (соответственно 53 и 49 %), в стоке фосфатов — уступает природной (40 %). В пространственном аспекте наиболее трансформирован химический сток верхнего Немана, Свислочи, Ошмянки, наименее — Котры, Сервечи, Нарочи.

Доказано, что изменение величины антропогенной составляющей химического стока по длине магистральной р. Неман отражает степень воздействия источников загрязнения и способность водотока к самоочищению. Так, антропогенная доля в стоке ионов хлора возрастает вниз по течению вследствие дополнительного привноса с водосборов притоков, высокой миграционной способности элемента и отсутствия биологического поглощения; антропогенная составляющая азота нитритного убывает за счет роста разбавляющей способности водотока и интенсификации процесса окисления нитритов до нитратов.

Показано, что одним из эффективных способов оценки поступления загрязняющих веществ в водотоки из урбанизированных территорий и диффузных источников является метод, основанный на уравнении баланса массы вещества в водном объекте. В условиях усиливающегося влияния техногенеза доля диффузных источников имела тенденцию к росту в отношении большинства химических элементов. На современном этапе диффузные и точечные источники в бассейне Немана оказывают дифференцированное влияние на формирование техногенных геохимических потоков в водной среде. Так, по данным замыкающего створа р. Неман — ниже г. Гродно, 68 % главных ионов антропогенного происхождения (в том числе 74 % хлоридов, 81 % сульфатов), 64 % нефтепродуктов поступают именно из диффузных источников. Неконтролируемые потоки также формируют 24 % фосфатов (в отсутствии крупных городов — до 75 %), от 49 % (в верхней Вилии) до 76 % азота нитритного (в верхнем Немане).

Промышленно-селитебные участки водосборов относят к условно контролируемым источникам загрязнения вод, поскольку большая часть поверхностного стока перехватывается ливневой канализацией и организованно сбрасывается в речную сеть. За период наблюдений вынос хлоридов и сульфатов с урбанизированных территорий снизился на 21–22 %, фосфатов — возрос на 30 %. В современный период 26 % хлоридов, 19 % сульфатов, 44 % натрия и калия, а также 76 % фосфатов, 36 % нефтепродуктов поступают в водотоки бассейна из промышленно-селитебных участков. Таким образом, поступление в речную сеть макрокомпонентов и соединений азота за счет техногенеза осуществляется преимущественно из диффузных источников, соединений фосфора — из урбанизированных территорий. Последние дифференцируются по степени загрязнения водотоков.

### Глава 5. Географо-гидрохимическая типизация водотоков и рекомендации по улучшению качества поверхностных вод бассейна

В соответствии с выполненной типизацией основным критерием выделения типов водотоков служат модули химического стока на современном этапе, дополнительными — фоновые значения модулей стока, приоритетные загрязняющие вещества, величина антропогенной составляющей стока, факторы его трансформации (рис. 2).

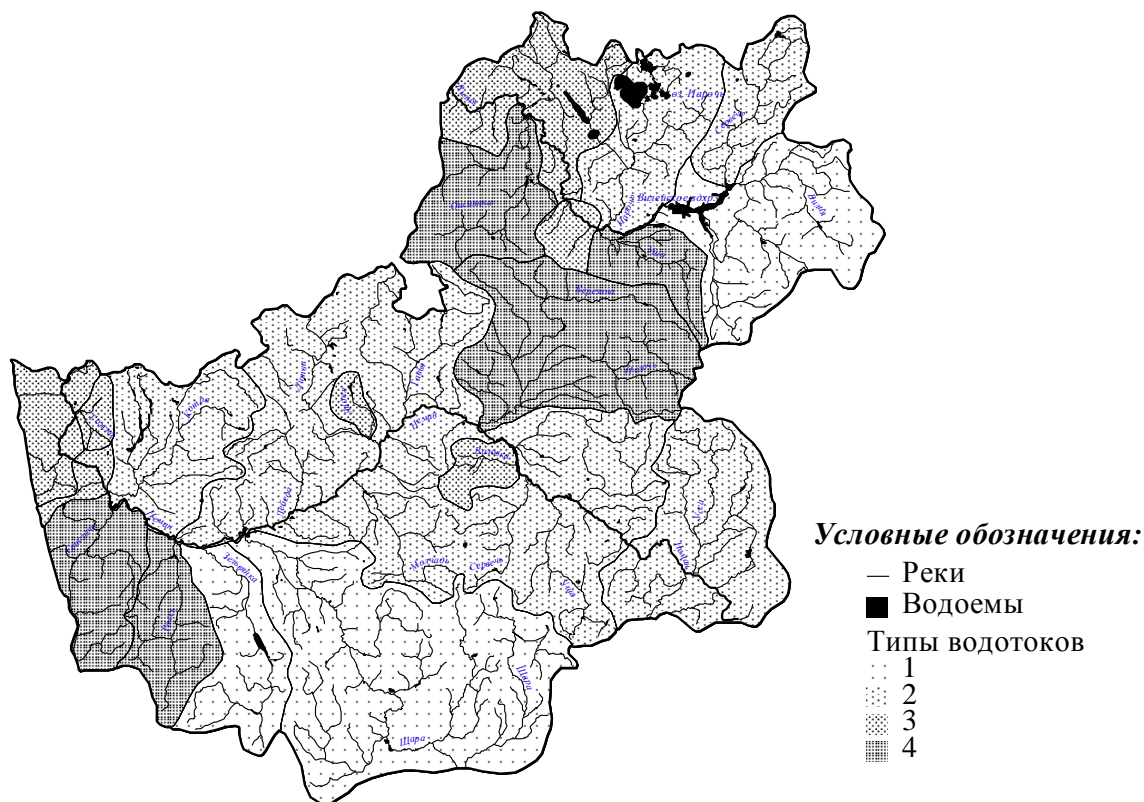


Рис. 2. Географо-гидрохимические типы водотоков бассейна Немана (масштаб 1:2500000)



С учетом специфики хозяйственного освоения и природных особенностей водосборов для каждого из четырех выделенных типов рек предложены мероприятия, направленные на улучшение качества вод.

К *первому типу* отнесены рр. верхняя Вилия (выше г. Вилейки), Зельвянка и Щара — водотоки с незначительным выносом химических веществ речным стоком на современном этапе, обусловленным влиянием гидротехнического строительства как ведущего фактора трансформации и пониженными фоновыми значениями стока. Величина стока главных ионов —  $46\text{--}56 \text{ т/км}^2$ , доля антропогенной составляющей — 10 %. Сооружение водохранилищ привело к уменьшению водного стока и соответственно к снижению выноса растворенных веществ или сохранению на фоновом уровне благодаря привносу ионов из техногенных источников, а также к частичной аккумуляции элементов в донных отложениях и водной растительностью. Рекомендуется принять меры по оптимизации эксплуатации искусственных водоемов.

Реки *второго типа* — Котра, Сервечь, Нарочь, верхнее и среднее течение Немана. Для них характерен повышенный вынос биогенных и органических веществ вследствие агрохозяйственного освоения водосборов и влияния осушительной мелиорации. Величина стока главных ионов —  $54\text{--}70 \text{ т/км}^2$ , доля антропогенной составляющей — 7–9 %. Необходима реализация мер по регулированию водопотребления в малых реках и оптимизации сельскохозяйственного производства, особенно в пределах прибрежных и водоохраных полос; по ужесточению контроля за функционированием животноводческих комплексов и селитебных территорий на водосборе озер Нарочанской группы.

*Третий тип* образуют рр. Валовка, Лидея, Гожка, а также нижние участки магистральных рек Вилии (ниже г. Сморгони), Немана (ниже г. Гродно) — водотоки с повышенным выносом главных ионов, биогенных веществ, нефтепродуктов, испытывающие промышленно-селитебную нагрузку. Величина стока главных ионов —  $54\text{--}95 \text{ т/км}^2$ , доля антропогенной составляющей — 10–12 %. Первоочередные водоохранные мероприятия следует направить на благоустройство селитебных участков, транспортных магистралей, создание малых искусственных водоемов; а также на ужесточение контроля и норм водоотведения, рациональное размещение и благоустройство потенциально опасных объектов.

Реки *четвертого типа* — Свислочь, Россь, Березина, Ошмянка, Уша. Для них характерен интенсивный вынос большинства химических веществ в результате агрохозяйственной и промышленно-селитебной нагрузки в водосборе и повышенных фоновых значений стока. Величина стока главных ионов —  $71\text{--}102 \text{ т/км}^2$ , доля антропогенной составляющей максимальная в бассейне — 10–13 %. Водотоки четвертого типа нуждаются в реализации комплекса вышеперечисленных мер.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований получены следующие выводы:

1. Впервые выполненная комплексная оценка стока растворенных веществ рек бассейна за многолетний период (1948–2001 гг.) позволила выявить пространственно-временные закономерности его формирования в природных и природно-техногенных условиях. Установлена пространственная дифференциация химического стока в ненарушенных условиях, которая проявляется в формировании пониженного выноса веществ ( $30\text{--}44\text{ т/км}^2$ ) с водосборов большинства рек вследствие влияния литобиогенного фактора и повышенного выноса ( $46\text{--}59\text{ т/км}^2$ ) — с водосборов Березины, Свислочи, Ошмянки — в результате действия литогенного фактора. Установлена обусловленность распределения химического стока рек внутригодовой неравномерностью и гидрохимическим различием генетических категорий водного стока [3, 4, 6, 15].

2. Усовершенствованная автором методика индикации антропогенных изменений химического состава речных вод заключается в построении разностно-интегральных кривых по параметрам, обладающим высоким индикационным значением, — отношениям стока главных ионов и биогенных веществ к выносу соответственно гидрокарбонатов и кремния. Методика позволила определить моменты нарушения химического состава вод на раннем этапе техногенного воздействия и установить их разновременность: биогенных веществ — в конце 1950-х – начале 1960-х гг., макрокомпонентов — в конце 1960-х гг. [3-6, 15].

3. Доказана дифференциация антропогенных изменений стока растворенных веществ. Привнесение в речную сеть веществ из техногенных источников привело к росту их удельного выноса большинством водотоков ( $\text{Cl}^-$  — в 4–6 раз,  $\text{Na}^+ + \text{K}^+$  — 3–5 раз,  $\text{SO}_4^{2-}$  и  $\text{PO}_4^{3-}$  — 3–4 раза,  $\text{NO}_2^-$  — 2–3 раза), интенсивнее в 1980-е гг. В рр. Щаре, верхней Вилии и Зельвянке сокращение водного стока в результате гидротехнического строительства компенсировало поступление поллютантов. Осушительная мелиорация вызвала изменение активности водной миграции элементов и как следствие — сокращение в 1960–1970-е гг. выноса Fe (в 3–11 раз), Mn (в 3–5 раз), органических веществ (в 2 раза) и увеличение выноса Cu (в 4–5 раз). Интенсивное поступление за счет техногенеза повлекло увеличение к 1980-м гг. выноса Cr в 2 раза, Ni — в 3–11 раз.

Выявлено ослабление доминирующего до 1970-х гг. агрохозяйственного воздействия на водосборы (с ранним нарушением химического стока в половодье и превышением летнего стока над зимним) и усиление промышленно-селитебного в последующие годы (с ростом выноса в меженные периоды вследствие постоянно действующих источников). Показано, что изменение внутригодового распределения привело к выравниванию сезонных различий за счет снижения стока в половодье (фосфатов с 47 % до 27 % годовой массы, азота нитритного — с 57 % до 39 %, железа — с 60 % до 39 %), увеличения валового выноса главных ионов в зимнюю межень (с 23 % до 38 %), биогенных элементов — в зимнюю и летнюю (фосфатов соответственно с 20 % до 36 % и с

33 % до 37%, азота нитритного — с 22 % до 33 % и с 21 % до 28 %). Установлено, что современный этап (с 1988–1989 гг.) в условиях ослабления техногенной нагрузки и пониженной водности характеризуется тенденцией к стабилизации химического состава поверхностных вод [1, 2, 7, 9–11, 13, 17, 19].

4. Результатом впервые выполненного моделирования выноса химических веществ реками бассейна является серия из 20 карт модуля годового стока главных ионов, биогенных и органических веществ, микроэлементов, нефтепродуктов. Графические модели химического стока дают возможность выявить закономерности его пространственной структуры на современном этапе. Интенсивный вынос макрокомпонентов осуществляется с водосборов рр. Уши, Гожки, Ошмянки, Березины (более 80 т/км<sup>2</sup> в год); хлоридов (более 3) — Росси, Гожки, Уши, Ошмянки; сульфатов (более 7) — рр. Гожки, Уши, Березины; азота общего (более 300 кг/км<sup>2</sup> в год) — рр. Уши, Гожки, Ошмянки, Росси; фосфора общего (более 90) — рр. Ошмянки, Валовки, Лидеи, Нарочи [4, 7, 13, 19].

5. Оценка антропогенной составляющей стока позволила установить, что ее величина служит индикатором гидрохимической обстановки, отражающим степень техногенного воздействия. Пик выноса речным стоком веществ из антропогенных источников, обусловленный интенсивным промышленным водоотведением и химизацией сельского хозяйства, пришелся на 1980-е гг. ( $\text{Cl}^-$  — 72 %,  $\text{SO}_4^{2-}$  — 55 %,  $\text{NO}_2^-$  — 65 %,  $\text{PO}_4^{3-}$  — 75 %), снижение их доли в последующие годы подтверждает существование тенденции к стабилизации химического состава вод. На современном этапе доминирующую роль в формировании стока хлоридов играют техногенные источники (69 %). Антропогенная составляющая сульфатов и нитритов сопоставима с природной (53 и 49 %), фосфатов — уступает ей (40 %). Наиболее трансформирован химический сток верхнего Немана, Свислочи, Ошмянки, наименее — Котры, Сервечи, Нарочи. Оценена роль диффузных источников и урбанизированных территорий в формировании техногенных геохимических потоков в водной среде. Установлено, что доминирующее значение принадлежит диффузным источникам: 74 %  $\text{Cl}^-$ , 81 %  $\text{SO}_4^{2-}$ , до 76 %  $\text{NO}_2^-$ , 64 % нефтепродуктов. Вынос веществ из промышленно-селитебных участков водосбора уступает диффузному поступлению, за исключением фосфатов (76 %) [2, 3, 5, 8, 12, 14, 16, 18].

6. Географо-гидрохимическая типизация водотоков выполнена по интенсивности выноса химических веществ речным стоком, с учетом его фоновых значений и антропогенной трансформации. К первому типу отнесены водотоки с незначительным выносом, обусловленным гидротехническим строительством и пониженными фоновыми показателями; ко второму — с повышенным выносом биогенных и органических веществ вследствие агротехногенеза; к третьему — с повышенным выносом главных ионов, биогенных веществ и нефтепродуктов, испытывающие промышленно-селитебную нагрузку; к четвертому типу — с интенсивным выносом веществ вследствие агрохозяйственной и промышленно-селитебной нагрузки и повышенных фоновых значений [4, 6, 17, 15].

## СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

### *Статьи*

1. Гриневич А. Г., Емельянов Ю. Н., Кольмакова Е. Г. Особенности выноса загрязняющих веществ в бассейне реки Припять // Вестник БГУ. Сер. 2, Химия, Биология, География. — 2000. — №3. — С. 73—77.
2. Гриневич А. Г., Емельянов Ю. Н., Кольмакова Е. Г. Гидрохимическая ситуация в бассейне р. Днепр // Вестник БГУ. Сер. 2, Химия, Биология, География. — 2003. — № 2. — С. 56—61.
3. Кольмакова Е. Г. Методика оценки антропогенных изменений стока растворенных веществ рек // Вестник БГУ. Сер. 2, Химия, Биология, География. — 2004. — № 3. — С. 57—63.
4. Кольмакова Е. Г. Ионный сток рек бассейна Немана в природных и природно-техногенных условиях // Природные ресурсы. — 2004. — № 3. — С. 13—22.
5. Кольмакова Е. Г. Антропогенная составляющая ионного и биогенного стока рек бассейна Немана // Природные ресурсы. — 2004. — №4. — С. 32—40.
6. Кальмакова А. Г. Гідрахімічны фон басейна Нёмана // Весці Беларус. дзярж. пед. ун-та. Сер. 3, Фізіка, Матэматыка, Інфарматыка, Біялогія, Геаграфія. — 2004. — № 3. — С. 44—48.
7. Кальмакова А. Г. Антрапагенныя змяненні мікраэлементнага сцёку рэк басейна Нёмана // Весці Беларус. дзярж. пед. ун-та. Сер. 3, Фізіка, Матэматыка, Інфарматыка, Біялогія, Геаграфія. — 2004. — № 4. — С. 47—51.
8. Кольмакова Е. Г. Оценка выноса химических веществ речным стоком из диффузных источников // Природные ресурсы. — 2005. — № 2. — С. 14—22.

### *Материалы конференций*

9. Гриневич А. Г., Емельянов Ю. Н., Кольмакова Е. Г. Оценка выноса загрязняющих веществ в бассейне реки Припять // Материалы VI съезда Белорус. географ. общ-ва, Могилев, 27 сент.—1 окт. 1999 г. / Белорус. гос. ун-т. Белорус. географ. общ-во. — Минск, 1999. — С. 102-104.
10. Кольмакова Е. Г. Оценка поступления загрязняющих веществ в бассейн реки Припять с площади водосборов левобережных притоков // V Республиканская научная конференция студентов, магистрантов и аспирантов Республики Беларусь «НИРС-2000»: Материалы конф., Гродно, 25–27 апр. 2000 г.: В 5 ч. / Гроднен. гос. ун-т. — Гродно, 2000. — Ч. 2. — С. 147—149.
11. Кольмакова Е. Г. Оценка поступления загрязняющих веществ в реку Припять с площади водосборов левобережных притоков // 56-я научная конференция студентов и аспирантов БГУ: Материалы науч. конф., Минск,

- апрель—май 1999 г.: В 3 ч. / Белорус. гос. ун-т. — Минск, 2000. — Ч. 2. — С. 125—129.
12. Кольмакова Е. Г. Влияние городов на качество поверхностных вод бассейна Немана // 57-я научная конференция студентов и аспирантов БГУ: Научные труды молодых ученых, аспирантов, студентов, Минск, апрель—май 2000 г.: В 3 ч. / Белорус. гос. ун-т. — Минск, 2002. — Ч. 1. — С. 112—114.
  13. Кольмакова Е. Г. Многолетние колебания выноса химических веществ с речным стоком Нарочи // Теоретические и прикладные проблемы современной лимнологии: Материалы Международ. науч.-практ. конф., Минск, 20—24 окт. 2003 г. / М-во природ. ресурсов и охр. окруж. среды. Белорус. гос. ун-т. Ин-т проблем использ. природ. ресурсов и экол. Белорус. географ. общ-во. — Минск, 2003. — С. 401—404.
  14. Емельянов Ю. Н., Кольмакова Е. Г. Особенности загрязнения реки Днепр на участке Могилевской области // Рэгіянальная геаграфія: праблемы развіцця і выкладання: Материалы Международ. науч. конф., Могилев, 10—13 марта 2004 г. / Могилев. гос. ун-т. — Могилев, 2004. — С. 90—91.
  15. Кольмакова Е. Г. Условия гидрохимического фона в бассейне Немана // География в XXI веке: проблемы и перспективы: Материалы Международ. науч. конф., Минск, 4—8 окт. 2004 г. / Белорус. гос. ун-т. Белорус. географ. общ-во. — Минск, 2004. — С. 29—30.
  16. Кольмакова Е. Г. Роль диффузных источников в загрязнении поверхностных вод // Антропогенная динамика ландшафтов и проблемы сохранения и устойчивого использования биологического разнообразия: Материалы II Респ. науч.-практ. конф., Минск, 1—2 дек. 2004 г. / Белорус. гос. пед. ун-т. — Минск, 2004. — С. 27—28.

### *Тезисы научных докладов*

17. Kolmakova H. G. Cost of Removing Pollutants from the Pripyat River Basin // V International Symposium and Exhibition on Environmental Contamination in Central and Eastern Europe: Materials of the Symposium, Prague, 12—14 September, 2000 / FSU. — Prague, 2000. — P. 153.
18. Kalmakova A. Urban territories as a source of surface water pollution // Drainage Basin Security — Balancing Production, Trade and Water Use: Abstracts of the 13<sup>th</sup> Stockholm Water Symposium, Stockholm, 11—14 August, 2003 / SIWI. — Stockholm, 2003. — P. 275—277.
19. Кольмакова Е. Г. Тенденции трансформации стока растворенных веществ рек бассейна Вилии // VI Всероссийский гидрологический съезд: Тез. докл., Санкт-Петербург, 28 сент.—1 окт. 2004 г. / Гос. гидрол. ин-т. — СПб, 2004. — С. 86—87.

**РЭЗІЮМЭ**

Кальмакова Алёна Генадзьеўна

**АНТРАПАГЕННЫЯ ЗМЯНЕННІ СЦЁКУ РАСТВОРАНЫХ РЭЧЫВАЎ  
РЭК БАСЕЙНА НЁМАНА (У МЕЖАХ БЕЛАРУСІ)**

*Ключавыя словы:* сцёк раствораных рэчываў, прасторавая будова, антрапагенная складаючая, дыфузныя крыніцы, урбанізаваныя тэрыторыі.

*Аб’ект і прадмет даследавання:* аб’ект даследавання — вадацёкі басейна Нёмана (у межах Беларусі) як складаючыя часткі прыродных геасістэм. Прадмет даследавання — сцёк раствораных рэчываў рэк, яго будова, дынаміка, прасторавая дыферэнцыяцыя.

*Мэта дысертацыйнай работы:* выяўленне прасторава-часавых заканамернасцяў фарміравання сцёку раствораных рэчываў рэк басейна ў прыродных і прыродна-тэхнагенных умовах.

*Метадалогія і метады даследавання* заснаваны на выкарыстанні географічна-гідралагічных, геахімічных, гідрахімічных падыходаў, з прымяненнем метадаў матэматычнай статыстыкі, гідрахімічнага балансу, параўнальна-геаграфічнага, сістэмнага аналізу, мадэліравання.

*Вынікі даследавання:* упершыню выканана комплексная ацэнка сцёку раствораных рэчываў рэк басейна Нёмана за шматгадовы перыяд назіранняў. Удасканалена метадыка індывідуальнай антрапагенных змяненняў хімічнага складу рачных вод. Выканана колькасная ацэнка антрапагеннай складаючай іённага і біягеннага сцёку рэк, вынасу рачным сцёкам хімічных рэчываў тэхнагеннага паходжання з дыфузных крыніц і урбанізаваных тэрыторый. Устаноўлены прасторава-часавыя заканамернасці фарміравання сцёку раствораных рэчываў у прыродных умовах і яго змянення пад уплывам антрапагеннага ўздзеяння. На аснове мадэліравання з выкарыстаннем ГІС-тэхналогій ўпершыню складзена серыя з 20 карт вынасу хімічных рэчываў рачным сцёкам. Выяўлена сучасная прасторавая будова хімічнага сцёку ў басейне. Зроблена географічна-гідрахімічная тыпізацыя вадацёкаў басейна, прапанаваны рэкамендацыі па паляпшэнню якасці паверхневых вод.

*Ступень выкарыстання:* вынікі работы выкарыстоўваюцца Гродзенскім абласным камітэтам прыродных рэсурсаў і аховы навакольнага асяроддзя і Цэнтральным навукова-даследчым інстытутам комплекснага выкарыстання водных рэсурсаў у выкананні навуковых праектаў, а таксама БДПУ імя М. Танка ў вучэбным працэсе на факультэце прыродазнаўства.

*Вобласць прымянення:* кіраванне і ўстойлівае выкарыстанне водных рэсурсаў, падрыхтоўка спецыялістаў-географаў.

## РЕЗЮМЕ

Кольмакова Елена Геннадьевна

### АНТРОПОГЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ СТОКА РАСТВОРЕННЫХ ВЕЩЕСТВ РЕК БАСЕЙНА НЕМАНА (В ПРЕДЕЛАХ БЕЛАРУСИ)

*Ключевые слова:* сток растворенных веществ, водосбор, пространственная структура, антропогенная составляющая, диффузные источники, урбанизированные территории.

*Объект и предмет исследования:* объект исследования — водотоки бассейна Немана (в пределах Беларуси) как составные части природных геосистем. Предмет исследования — сток растворенных веществ рек, его структура, динамика, пространственная дифференциация.

*Цель диссертационной работы:* выявление пространственно-временных закономерностей формирования стока растворенных веществ рек бассейна в природных и природно-техногенных условиях.

*Методология и методы исследования* основаны на использовании географо-гидрологических, геохимических, гидрохимических подходов, с применением методов математической статистики, гидрохимического баланса, сравнительно-географического, системного анализа, моделирования.

*Результаты исследования:* впервые выполнена комплексная оценка стока растворенных веществ рек бассейна Немана за многолетний период наблюдений. Усовершенствована методика индикации антропогенных изменений химического состава речных вод. Выполнена количественная оценка антропогенной составляющей ионного и биогенного стока рек, выноса речным стоком химических веществ техногенного происхождения из диффузных источников и урбанизированных территорий. Установлены пространственно-временные закономерности формирования стока растворенных веществ в природных условиях и его изменения вследствие антропогенного воздействия. На основе моделирования с применением ГИС-технологий впервые составлена серия из 20 карт выноса химических веществ речным стоком. Выявлена современная пространственная структура химического стока в бассейне. Проведена географо-гидрохимическая типизация водотоков бассейна, предложены рекомендации по улучшению качества поверхностных вод.

*Степень использования:* результаты работы используются Гродненским областным комитетом природных ресурсов и охраны окружающей среды и Центральным научно-исследовательским институтом комплексного использования водных ресурсов в выполнении научных проектов, а также БГПУ им. М. Танка в учебном процессе на факультете естествознания.

*Область применения:* управление и устойчивое использование водных ресурсов, подготовка специалистов-географов.

## SUMMARY

Kalmakova Alena Genadievna

### ANTHROPOGENIC CHANGES OF THE RUNOFF OF THE DISSOLVED SUBSTANCES IN NEMAN DRAINAGE BASIN (IN BELARUS)

*Key words:* runoff of the dissolved substances, catchment area, spatial structure, anthropogenic component, diffuse sources, urban areas.

*Object and subject of the research:* the object of the research are the watercourses of Neman drainage basin, which are integral parts of natural geosystems. The subjectmatter of the research is the runoff of the dissolved substances, its structure, dynamics and spatial differences.

*The aim of the research* is to reveal the spatial and dynamic regularities in the formation of the runoff of the dissolved substances under natural and anthropogenic conditions.

*Methodology and methods of the research* are based on the geographical-hydrological, geochemical, hydrochemical scientific approaches. The mathematical statistical method, the method of hydrochemical balance, as well as system analysis, comparative-geographical and modelling methods are also applied.

*Results:* For the first time the complex assessment of the runoff of the dissolved substances of Neman drainage basin has been developed for the long period. The methods of anthropogenic changes indication in chemical composition of river waters have been improved. The quantitative assessment of anthropogenic component of ion and nutrient discharge has been worked out. The assessment of pollutant transportation by surface flow from diffuse sources and urban areas has also been worked out. The spatial and dynamic regularities in the formation of the runoff of the dissolved substances under natural conditions and the transformation of these runoff in question under human activity have been revealed. The modelling of chemical elements transportation by river flow on the basis of GIS resulted in 20 maps. The modern spatial structure of the runoff of the dissolved substances in Neman drainage basin has been analyzed. The geographical-geochemical classification of the watercourses for Neman drainage basin has been done. The recommendations for river water quality improvement have been suggested.

*Practical implication:* The results of the research are used by Grodno region committee of natural resources and environmental protection and by Central scientific and research institute of complex use of water resources in the framework of scientific projects. The method of anthropogenic changes indication in chemical composition of river waters are applied in the academic process at the Natural Sciences Department of Belarusian State Pedagogical University named after Maxim Tank.

*Area of application:* environment management and sustainable use of water resources, training of specialists in the field of geographical sciences.